

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of)
Koji SHIMAZAWA) Group Art Unit: Unassigned
Application No.: Unassigned) Examiner: Unassigned
Filed: July 9, 2001)
For: MAGNETORESISTIVE EFFECT THIN-)
FILM MAGNETIC HEAD)
)
)
)
)
)

J1046 U.S. PTO
09/899951
07/09/01



CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 208401/2000

Filed: July 10, 2000

In support of this claim, enclosed is a certified copy of said prior foreign application. Said prior foreign application was referred to in the oath or declaration. Acknowledgment of receipt of the certified copy is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

By:

Ellen Marcie Emas
Registration No. 32,131

Date: July 9, 2001

P.O. Box 1404
Alexandria, Virginia 22313-1404
(703) 836-6620

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

J1046 U.S. PTO
09/899951
07/09/01


This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: July 10, 2000

Application Number: 208401/2000

Applicant(s): TDK Corporation

June 05, 2001

Commissioner,
Patent Office Kozo OIKAWA(Official Seal)

Certificate Issuance No.2001-3052812

J1046 U.S. PRO
60/899951
07/09/01



[Document] Application for Patent
[Reference Number] 01788
[Filing Date] July 10, 2000
[Recipient] Commissioner, Patent Office
[IPC Number] G11B 5/39
[Inventor(s)]
[Address] c/o TDK Corporation
1-13-1, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo
[Name] Koji SHIMAZAWA
[Applicant]
[Identification Number] 000003067
[Name] TDK Corporation
[Attorney]
[Identification Number] 100074930
[Patent Attorney]
[Name] Keiichi YAMAMOTO
[General Fee]
[Deposition Account Number] 001742
[Amount] 21,000 yen
[List of Attached Document]
[Document] Specification 1
[Document] Drawings 1
[Document] Abstract 1
[Necessity of Proof] Necessary

Best Available Copy

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

J11046 U.S. PTO
09/899951
07/09/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application: 2000年 7月 10日

出願番号

Application Number: 特願 2000-208401

出願人

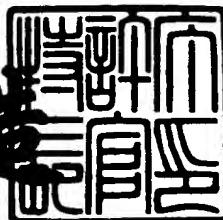
Applicant(s): ティーディーケイ株式会社

CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

2001年 6月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特 2001-3052812

【書類名】 特許願
【整理番号】 01788
【提出日】 平成12年 7月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティーディーケイ
株式会社内

【氏名】 島沢 幸司

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074930

【弁理士】

【氏名又は名称】 山本 恵一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001742

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド

【特許請求の範囲】

【請求項1】 下部シールド層と、上部シールド層と、該下部シールド層及び該上部シールド層間に該下部シールド層及び該上部シールド層に電気的に導通して形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体と、前記下部シールド層及び前記上部シールド層間に形成された絶縁体材料による絶縁ギャップ層とを備えており、該絶縁ギャップ層の少なくとも一部が Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項2】 下部シールド層と、該下部シールド層上に積層された非磁性導電体の下部ギャップ層と、該下部ギャップ層上に積層形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体と、該磁気抵抗効果積層体上に積層形成された非磁性導電体の上部ギャップ層と、該磁気抵抗効果積層体及び該上部ギャップ層の周囲に形成された絶縁体の絶縁ギャップ層と、前記上部ギャップ層及び前記絶縁ギャップ層上に積層形成された上部シールド層とを備えており、該絶縁ギャップ層の少なくとも一部が Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項3】 前記絶縁ギャップ層の全てが Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項4】 Al_2O_3 より誘電率の低い前記絶縁体材料が、 Si_3N_4 、 $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 又は SiO_2 であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項5】 前記磁気抵抗効果積層体が、トンネルバリア層と、該トンネルバリア層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えたトンネル磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項6】 前記磁気抵抗効果積層体が、非磁性金属層と、該非磁性金属

層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えた垂直方向電流通過型巨大磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばハードディスクドライブ（HDD）装置に使用可能であり、電流が積層面と垂直方向に流れるトンネル磁気抵抗効果（TMR）素子又は垂直方向電流通過型巨大磁気抵抗効果（C P P（C u r r e n t P e r p e n d i c u l a r t o t h e P l a n e）-G M R）素子を備えた磁気抵抗効果（M R）型薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】

HDD装置の高密度化に伴って、より高感度及び高出力の磁気ヘッドが要求されている。近年、この要求に答えるものとして、下部強磁性薄膜層／トンネルバリア層／上部強磁性薄膜層という多層構造からなる強磁性トンネル効果を利用したTMR素子（例えば、特開平4-103014号公報）や、下部強磁性薄膜層／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層という多層構造からなるGMR素子の一種であり電流が積層面と垂直方向に流れるC P P-G M R素子（例えば、W. P. Pratt, Jr et al, "Perpendicular Giant Magnetoresistance of Ag/Co Multilayers", PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol. 66, No. 23, pp. 3060-3063, June 1991）が注目されている。これらの素子は、電流が積層面に沿って流れる一般的なGMR素子（C I P（C u r r e n t - I n P l a n e）-G M R素子）に比較して数倍大きなM R変化率が得られ、しかも狭ギャップを容易に実現できる。なお、下部強磁性薄膜層及び上部強磁性薄膜層における「下部」及び「上部」とは、基板との位置関係を示す用語であり、一般に、基板に近い側が下部、遠い側が上部である。

【0003】

図1は、一般的な構造を有するCIP-GMR素子をABS(浮上面)方向から見た図である。

【0004】

同図において、10は下部シールド層、11は絶縁材料で形成された下部ギャップ層、12は下部強磁性薄膜層(フリー層)／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層(ピンド層)／反強磁性薄膜層という多層構造からなるGMR積層体、13は絶縁材料で形成された上部ギャップ層、14は上部シールド層、15はハードバライアス層、16は電極層をそれぞれ示している。

【0005】

センス電流はGMR積層体12の積層面と平行に流れ、下部及び上部シールド層10及び14とGMR積層体12とは下部及び上部ギャップ層11及び13で電気的に絶縁されている。

【0006】

このようなCIP-GMR素子において、狭ギャップ化を実現するためには、非常に薄くかつ絶縁耐圧が非常に高い絶縁体を下部及び上部ギャップ層11及び13に用いる必要があるが、このような特性の絶縁体を実現することが難しく、これが高密度化のためのボトルネックとなっている。

【0007】

図2は、一般的な構造を有するTMR素子又はCPP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【0008】

同図において、20は電極兼用の下部シールド層、21は金属材料で形成された電極兼用の下部ギャップ層、22は下部強磁性薄膜層(フリー層)／トンネルバリア層／上部強磁性薄膜層(ピンド層)／反強磁性薄膜層という多層構造からなるTMR積層体、又は下部強磁性薄膜層(フリー層)／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層(ピンド層)／反強磁性薄膜層という多層構造からなるCPP-GMR積層体、23は金属材料で形成された電極兼用の上部ギャップ層、24は電極兼用の上部シールド層、25はハードバライアス層、26は絶縁材料で形成された絶縁ギャップ層をそれぞれ示している。なお、22aはTMR積層体又はCPP

-GMR積層体から積層面に沿ってハードバイアス層25方向に延長された下部強磁性薄膜層（フリー層）である。

【0009】

このようなTMR素子又はCPP-GMR素子においては、センス電流を積層面と垂直方向に流すために下部シールド層20及び上部シールド層24間が電気的に導通しており、従って、ギャップ層の絶縁破壊を心配することなく狭ギャップ化の実現が可能である。その結果、線記録密度を大幅に向上することが可能である。

【0010】

HDD装置においては、このような高記録密度化のみならず、高転送速度化も非常に重要な課題となっている。転送速度は、磁気ディスクの回転速度に大きく影響されるが、記録ヘッドや再生ヘッドの周波数特性にも非常に大きく影響される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

図3はCIP-GMR素子の等価回路図であり、図4はTMR素子又はCPP-GMR素子の等価回路図である。

【0012】

図3から明らかのように、CIP-GMR素子においては、出力端子間にはGMR素子の等価抵抗 R_{GMR} が存在するのみであり周波数特性を劣化させるような本質的な要因はその回路中に存在しない。しかしながら、図4から明らかのように、シールド層を電極として利用する構造のTMR素子又はCPP-GMR素子においては、出力端子間にTMR素子又はCPP-GMR素子の等価抵抗 R_T _M_Rの他にシールド層間のキャパシタンス C_{Shield} 及びTMR素子又はCPP-GMR素子自体のキャパシタンス C_{TMR} が存在しており、これらがローパスフィルタを構成する形となって周波数特性が著しく劣化してしまう。

【0013】

従って、本発明の目的は、周波数特性を大幅に向上することができる、例えばTMR素子又はCPP-GMR素子を備えた、MR型薄膜磁気ヘッドを提供する

ことにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、下部シールド層と、上部シールド層と、下部シールド層及び上部シールド層間にこれら下部シールド層及び上部シールド層に電気的に導通して形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体と、下部シールド層及び上部シールド層間に形成された絶縁体材料による絶縁ギャップ層とを備えており、この絶縁ギャップ層の少なくとも一部が Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されているMR型薄膜磁気ヘッドが提供される。

【0015】

さらに、本発明によれば、下部シールド層と、下部シールド層上に積層された非磁性導電体の下部ギャップ層と、下部ギャップ層上に積層形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体と、MR積層体上に積層形成された非磁性導電体の上部ギャップ層と、MR積層体及び上部ギャップ層の周囲に形成された絶縁体の絶縁ギャップ層と、上部ギャップ層及び絶縁ギャップ層上に積層形成された上部シールド層とを備えており、この絶縁ギャップ層の少なくとも一部が Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されているMR型薄膜磁気ヘッドが提供される。

【0016】

下部シールド層及び上部シールド層間に形成された絶縁体材料による絶縁ギャップ層の少なくとも一部が Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されているため、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンス C_{Shield} が小さくなる。その結果、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【0017】

図5は図4に示した等価回路においてシールド層間のキャパシタンスが $C_{\text{Shield}} = 6 \text{ pF}$ の場合におけるヘッド出力の対周波数特性を示す図であり、図6は同じく図4に示した等価回路においてシールド層間のキャパシタンスが $C_{\text{Shield}} = 1 \text{ pF}$ の場合におけるヘッド出力の対周波数特性を示す図である。ただし、TMR素子又はCPP-GMR素子のキャパシタンスは $C_{\text{TMR}} = 0$ 。

0.1 pFとし、出力端子に接続される負荷は $10\text{ M}\Omega$ とする。

【0018】

図5から明らかのように、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}} = 6\text{ pF}$ の場合、出力が 3 dB 低下するカットオフ周波数 f_c は、素子抵抗 R_{TMR} の増大に伴って減少し、 $f_c > 500\text{ MHz}$ とするためには、素子抵抗 R_{TMR} を 50Ω 以下にしなければならない。ちなみに、 500 MHz という周波数は、 100 Gbits/in^2 程度の記録密度で使用されることが予想される周波数である。 100 Gbits/in^2 以上の記録密度の TMR 素子においては、このような低い素子抵抗を実現することは非常に困難である。

【0019】

これに対して、図6から明らかのように、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}} = 1\text{ pF}$ の場合、素子抵抗 R_{TMR} が 300Ω 以上であっても $f_c > 500\text{ MHz}$ とすることが可能となる。即ち、シールド層間のキャパシタンス C_{Shield} を小さくすることにより、素子抵抗 R_{TMR} が十分に実現可能な 300Ω 以上であっても薄膜磁気ヘッドの周波数特性を著しく向上させることができるのである。なお、TMR 素子又は CPP-GMR 素子のキャパシタンス C_T は、シールド層間のキャパシタンス C_{Shield} に比してはるかに（2桁以上）小さいため、さほど問題とならない。

【0020】

絶縁ギャップ層の全てが Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料で形成されていることが好ましい。

【0021】

Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁体材料が、 Si_3N_4 、 $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 又は SiO_2 であることも好ましい。

【0022】

MR 積層体が、トンネルバリア層と、このトンネルバリア層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えた TMR 積層体であるか、又は非磁性金属層と、この非磁性金属層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えた CPP-GMR 積層体であることも好ましい。

【0023】

【発明の実施の形態】

図7は本発明の一実施形態として、MRハイト又はスロートハイト研磨加工前のTMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図であり、図8は図7のA-A線断面図であり、図9は図7のB-B線断面図である。なお、図7では下部シールド層及び上部シールド層とこれらに接続されるリード導体と端子電極のみが表されその他は図示が省略されており、図8及び図9では上部シールド層の上平面より上側の層の図示が省略されている。

【0024】

これらの図において、70は図示しない基板上に積層形成された電極兼用の下部シールド層、71は下部シールド層70上にこの下部シールド層70と電気的に導通して積層形成された非磁性導電体による電極兼用の下部ギャップ層、72は下部ギャップ層71上に積層されパターニング形成されたTMR積層体、73は少なくともTMR積層体72上に積層形成された非磁性導電体による電極兼用の上部ギャップ層、74は上部ギャップ層73上にこの上部ギャップ層73と電気的に導通して積層形成された電極兼用の上部シールド層、75は磁区制御のためのバイアス磁界を付与するハードバイアス層、76は少なくとも下部ギャップ層71上であってTMR積層体72の外側に積層形成された絶縁体による絶縁ギャップ層、77は下部シールド層70の外側に形成された第1の絶縁体層、78は絶縁ギャップ層76上であって上部ギャップ層73及び上部シールド層74の外側に形成された第2の絶縁体層、79は一端が下部シールド層70又は下部ギャップ層71に電気的に接続された第1のピアホール導体、80は一端が第1のピアホール導体79の他端に電気的に接続された第1のリード導体、81は第1のリード導体80の他端が電気的に接続された第1の端子電極（接続パッド）、82は一端が上部シールド層74に電気的に接続された第2のリード導体、83は一端が第2のリード導体82の他端に電気的に接続された第2のピアホール導体、84は一端が第2のピアホール導体83の他端に電気的に接続された第3のリード導体、85は第3のリード導体84の他端が電気的に接続された第2の端

子電極（接続パッド）をそれぞれ示している。

【0025】

TMR積層体72は、図には示されていないが、反強磁性薄膜層、下部強磁性薄膜層（ピンド層）、トンネルバリア層及び上部強磁性薄膜層（フリー層）という基本的な層を少なくとも含む多層構造となっている。

【0026】

上部強磁性薄膜層（フリー層）は、基本的には、外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるように構成されており、下部強磁性薄膜層（ピンド層）は、反強磁性薄膜層との間の交換結合バイアス磁界によって、その磁化方向が所定方向に向くように構成されている。

【0027】

下部シールド層70及び上部シールド層74は、NiFe（パーマロイ）、センダスト、CoFe、CoFeNi又はCoZrNb等の単層構造又は多層構造で構成される。膜厚は、0.5～4μm、好ましくは1～3μmである。

【0028】

下部ギャップ層71及び上部ギャップ層73は、非磁性導電体材料、例えばTa、Cu、Al、Ag、Au、Ti、TiW、Rh、Cr、In、Ir、Mg、Ru、W、Zn、PtMn若しくはRuRhMn、又はそれらの合金で構成される。膜厚は、5～70nm、好ましくは10～50nmである。

【0029】

TMR積層体72における下部強磁性薄膜層（ピンド層）及び上部強磁性薄膜層（フリー層）は、高スピニ分極材料で構成することが好ましく、例えば、Fe、Co、Ni、CoFe、NiFe、CoZrNb又はCoFeNi等の単層構造又は多層構造が用いられる。下部強磁性薄膜層（ピンド層）の膜厚は、1～10nm、好ましくは2～5nmである。この膜厚が厚くなりすぎると反強磁性薄膜層との交換結合バイアス磁化が弱まり、膜厚が薄くなりすぎるとTMR変化率が減少する。上部強磁性薄膜層（フリー層）の膜厚は、2～50nm、好ましくは4～30nmである。この膜厚が厚くなりすぎるとヘッド動作時の出力が低下しあつバルクハウゼンノイズ等によって出力の不安定性が増大し、膜厚が薄くな

りすぎるとTMR効果の劣化に起因する出力低下が生じる。

【0030】

TMR積層体72におけるトンネルバリア層は、 Al_2O_3 、 NiO 、 GdO 、 MgO 、 Ta_2O_5 、 MoO_2 、 TiO_2 又は WO_2 等から構成される。膜厚は、0.5~2nm程度である。このトンネルバリア層の膜厚は、素子の低抵抗値化の観点からできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流が流れてしまうので好ましくない。

【0031】

TMR積層体72における反強磁性薄膜層は、例えば PtMn 、 RuRhMn で構成されるがその他の一般的な反強磁性材料を用いることもできる。膜厚は6~30nm程度である。

【0032】

絶縁ギャップ層76の全部又は一部は、 Al_2O_3 より誘電率の低い絶縁材料、例えば Si_3N_4 、 $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ （ヘマタイト）又は SiO_2 で構成される。第1の絶縁体層77及び第2の絶縁体層78は、一般的には Al_2O_3 で構成される。しかしながら、第1の絶縁体層77及び第2の絶縁体層78を絶縁ギャップ層76と同じ絶縁材料で構成してもよい。

【0033】

第1及び第2のビアホール導体79及び83、第1、第2及び第3のリード導体80、82及び84、並びに第1及び第2の端子電極（接続パッド）81及び85は、 Cu 、 Al 、 Au 又は Ag 等で構成される。ただし、一端が上部シールド層74に電気的に接続されている第2のリード導体82を、この上部シールド層74と同じ材料で形成してもよい。

【0034】

本実施形態における重要なポイントは、絶縁ギャップ層76の全部又は一部が Si_3N_4 、 $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ （ヘマタイト）又は SiO_2 で形成されている点にある。これらの絶縁材料は、誘電率が Al_2O_3 より低く、従って、下部ギャップ層71及び上部ギャップ層73間に挟まれる誘電体、並びに第2のリード導体82及び第2のビアホール導体83の下で上部ギャップ層73及び下部シー

ルド層70間に挟まれる誘電体の誘電率が低くなり、下部シールド層70及び上部シールド層74間のキャパシタンス C_{Shield} が小さくなる。その結果、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【0035】

本実施形態の構造において、絶縁ギャップ層76の全てを従来の Al_2O_3 （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 7$ ）で構成すると、下部シールド層70及び上部シールド層74間のキャパシタンスは $C_{Shield} = 10.2\text{ pF}$ であり、カットオフ周波数は $f_c = 120\text{ MHz}$ であった。ただし、下部シールド層70又は下部ギャップ層71上に位置する上部シールド層74の電位を有する部分の面積、即ちキャパシタとして機能する電極面積は $S = 10230\mu\text{m}^2$ （CADによる計算値）であり、下部シールド層70及び上部シールド層74間の距離は 110 nm であり、そのうち、絶縁ギャップ層の膜厚は 52 nm であり、リード線を含むTMRヘッドの抵抗は $R_{HGA} = 130\Omega$ である。なお、シールド層間キャパシタンス C_{Shield} 及びカットオフ周波数 f_c は、実測しても計算で求めてもほぼ一致する。例えばカットオフ周波数 f_c は $f_c = 1 / (2\pi R_{HGA} C_{Shield})$ から算出できる。

【0036】

絶縁ギャップ層76の全てを Si_3N_4 （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 4$ ）で構成すると、 $C_{Shield} = 5.8\text{ pF}$ であり、 $f_c = 211\text{ MHz}$ と大幅に改善される。

【0037】

絶縁ギャップ層76の全てを $Co-\gamma Fe_2O_3$ （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 3.5$ ）で構成すると、 $C_{Shield} = 5.1\text{ pF}$ となり、 $f_c = 240\text{ MHz}$ とさらに改善される。

【0038】

絶縁ギャップ層76の全てを SiO_2 （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 3$ ）で構成すると、 $C_{Shield} = 4.4\text{ pF}$ となり、 $f_c = 278\text{ MHz}$ といっそう改善される。

【0039】

図10は上述した実施形態のごとき構造を有し、絶縁ギャップ層76に種々の絶縁材料を用いたTMRヘッドを実際に作成して測定したヘッド出力の対周波数特性を表す図であり、図11は図10の特性を換算して得た線記録密度の対周波数特性を表す図である。

【0040】

作成したTMRヘッドは、そのTMR積層体が下地層としてNiCr(3nm)、反強磁性薄膜層としてPtMn(14nm)、下部強磁性薄膜層(ピンド層)としてCoFe(2nm)／Ru(0.8nm)／CoFe(2nm)、トンネルバリア層としてAlOx、上部強磁性薄膜層(フリー層)としてCoFe(2nm)／NiFe(4nm)、キャップ層としてNiCr(3nm)を順次積層した構成を有している。そのTMR積層体は寸法が $0.35 \times 0.35 \mu\text{m}^2$ であり、RA=15Ωμm²であり、シールド層間距離は110nmであり、絶縁ギャップ層76の膜厚は52nmであり、リード線を含むTMRヘッドの抵抗はR_{HGA}=130Ωである。このTMRヘッドを、磁気ディスクを5400rpmで回転させ、半径r=35mmの位置で記録周波数を変化させることにより対周波数特性を測定した。

【0041】

図10及び図11から明らかのように、絶縁ギャップ層76の全てを、Si₃N₄、Co-γFe₂O₃又はSiO₂で構成すると、C_{Shield}が従来技術のAl₂O₃で構成した場合の10.2pFから5.8pF、5.1pF又は4.4pFにそれぞれ低下しており、ヘッドの周波数特性が大幅に向かっている。なお、D50値についても、従来技術の194kFCIから364kFCI、397kFCI又は398kFCIとこれも大幅に向かっている。

【0042】

なお、絶縁ギャップ層76の全てではなく、その一部のみ、例えば、シールド層間キャパシタンスに影響を及ぼす領域部分のみ若しくはその領域部分の一部、又は層厚方向の一部のみ、をSi₃N₄、Co-γFe₂O₃又はSiO₂で形成しても、それなりにシールド層間キャパシタンスC_{Shield}が低下し、カットオフ周波数f_cが高くなる。

【0043】

絶縁ギャップ層76として、 Al_2O_3 より誘電率の低いこのような絶縁材料を用いれば、 C_{Shield} が低下しヘッドの周波数特性を向上させることができると、その部分の絶縁耐圧の低下が懸念される。そこで、上述した実施形態のごとき構造を有し、絶縁ギャップ層76に種々の絶縁材料を用いたTMRヘッドを実際に作成し、過電流を流してTMRヘッドが電気的に破壊される電流を測定した。

【0044】

図12はその測定結果であり、同図(A)は絶縁ギャップ層76に Al_2O_3 を用いた場合、同図(B)は Si_3N_4 を用いた場合、同図(C)は $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ を用いた場合、同図(D)は SiO_2 を用いた場合である。同図(A)では13.3mAで素子の破壊が生じ、同図(B)では13.0mA、同図(C)では10.7mA、同図(D)では14.1mAでそれぞれ素子の破壊が生じている。即ち、破壊電流は、絶縁ギャップ層76の材料に依存せずほぼ一定であることが分かる。これは、TMRヘッドの電気的破壊が、TMR積層体72において先に発生してしまうことを意味している。従って、絶縁ギャップ層76として、 Al_2O_3 より誘電率の低いこのような絶縁材料を用いても、その部分で耐圧が低下することではなく、信頼性の低下は生じないこととなる。

【0045】

図7～図9の実施形態は、TMRヘッドに関するものであるが、本発明は、TMRヘッドのみならず、センス電流を積層面と垂直方向に流すいかなる構造のCPP-GMR素子についても全く同様に適用可能である。

【0046】

変更態様として、上述の実施形態におけるTMR積層体72の代わりに、CPP-GMR積層体を用いたCPP-GMRヘッドの一例について、以下説明する。

【0047】

このCPP-GMR積層体は、単なる一例であるが、第1の反強磁性薄膜層、第1の強磁性薄膜層(第1のピンド層)、例えばCu等による第1の非磁性金属

層、第2の強磁性薄膜層（フリー層）、例えばCu等による第2の非磁性金属層、第3の強磁性薄膜層（第3のピンド層）、第2の反強磁性薄膜層という基本的な層を少なくとも含む多層構造を有している。

【0048】

第2の強磁性薄膜層（フリー層）は、基本的には、外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるように構成されており、第1及び第3の強磁性薄膜層（第1及び第2のピンド層）は、それぞれ、第1及び第2の反強磁性薄膜層との間の交換結合バイアス磁界によって、その磁化方向が所定方向に向くように構成されている。

【0049】

CPP-GMR積層体を除くその他の層構成等は、前述した図7～図9の実施形態の場合と全く同様である。CPP-GMR積層体の層構成も上述した例に限定されるものではなく、いかなる構造であってもよい。

【0050】

絶縁ギャップ層76の全てを従来のAl₂O₃（比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 7$ ）で構成すると、下部シールド層70及び上部シールド層74間のキャパシタンスは $C_{Shield} = 10.2 \text{ pF}$ であり、カットオフ周波数は $f_c = 520 \text{ MHz}$ であった。ただし、下部シールド層70又は下部ギャップ層71上に位置する上部シールド層74の電位を有する部分の面積、即ちキャパシタとして機能する電極面積は $S = 10230 \mu\text{m}^2$ （CADによる計算値）であり、下部シールド層70及び上部シールド層74間の距離は110nmであり、そのうち、絶縁ギャップ層の膜厚は52nmであり、リード線を含むCPP-GMRヘッドの抵抗は $R_{HGA} = 30 \Omega$ である。なお、シールド層間キャパシタンス C_{Shield} 及びカットオフ周波数 f_c は、実測しても計算で求めてもほぼ一致する。例えばカットオフ周波数 f_c は $f_c = 1 / (2\pi R_{HGA} C_{Shield})$ から算出できる。

【0051】

絶縁ギャップ層76の全てをSi₃N₄（比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 4$ ）で構成すると、 $C_{Shield} = 5.8 \text{ pF}$ であり、 $f_c = 915 \text{ MHz}$ と大幅に改善さ

れる。

【0052】

絶縁ギャップ層76の全てを $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 3.5$ ）で構成すると、 $C_{\text{Shield}} = 5.1 \text{ pF}$ となり、 $f_c = 1.04 \text{ GHz}$ とさらに改善される。

【0053】

絶縁ギャップ層76の全てを SiO_2 （比誘電率 ϵ_r が $\epsilon_r = 3$ ）で構成すると、 $C_{\text{Shield}} = 4.4 \text{ pF}$ となり、 $f_c = 1.21 \text{ GHz}$ といっそう改善される。

【0054】

このようなCPP-GMRヘッドの絶縁耐圧の低下を調べるために、絶縁ギャップ層76に種々の絶縁材料を用いたCPP-GMRヘッドを実際に作成し、過電流を流してCPP-GMRヘッドが電気的に破壊される電流を測定した。ただし、作成したCPP-GMRヘッドは、そのCPP-GMR積層体が下地層として NiCr （3 nm）、第1の反強磁性薄膜層として PtMn （14 nm）、第1の強磁性薄膜層（第1のピンド層）として CoFe （2 nm）／ Ru （0.8 nm）／ CoFe （2 nm）、第1の非磁性金属層として Cu （2.2 nm）、第2の強磁性薄膜層（フリー層）として CoFe （1 nm）／ NiFe （2 nm）／ CoFe （1 nm）、第2の非磁性金属層として Cu （2.2 nm）、第3の強磁性薄膜層（第2のピンド層）として CoFe （2 nm）／ Ru （0.8 nm）／ CoFe （2 nm）、第2の反強磁性薄膜層として PtMn （14 nm）、キャップ層として NiCr （3 nm）を順次積層した構成を有している。そのCPP-GMR積層体は寸法が $0.1 \times 0.03 \mu\text{m}^2$ であり、シールド層間距離は110 nmであり、絶縁ギャップ層76の膜厚は52 nmであり、リード線を含むCPP-GMRヘッドの抵抗は $R_{\text{HGA}} = 30 \Omega$ である。

【0055】

図13はその測定結果であり、同図（A）は絶縁ギャップ層76に Al_2O_3 を用いた場合、同図（B）は Si_3N_4 を用いた場合、同図（C）は $\text{Co}-\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ を用いた場合、同図（D）は SiO_2 を用いた場合である。同図（A

) では 18.7 mA で素子の破壊が生じ、同図 (B) では 17.4 mA、同図 (C) では 20.2 mA、同図 (D) では 19.3 mA でそれぞれ素子の破壊が生じている。即ち、破壊電流は、絶縁ギャップ層 76 の材料に依存せずほぼ一定であることが分かる。これは、CPP-GMR ヘッドの電気的破壊が、CPP-GMR 積層体において先に発生してしまうことを意味している。従って、絶縁ギャップ層 76 として、Al₂O₃ より誘電率の低いこのような絶縁材料を用いても、その部分で耐圧が低下することはなく、信頼性の低下は生じないこととなる。

【0056】

図 14 は本発明の他の実施形態として、MR ハイト又はスロートハイト研磨加工前の TMR 型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図であり、図 15 は図 14 の A-A 線断面図であり、図 16 は図 14 の B-B 線断面図である。なお、図 14 では下部シールド層及び上部シールド層とこれらに接続されるリード導体と端子電極のみが表されその他は図示が省略されており、図 15 及び図 16 では上部シールド層の上平面より上側の層の図示が省略されている。

【0057】

この実施形態は、下部ギャップ層 71 上に積層されパターニング形成された TMR 積層体 142 及びハードバイアス層 145 の構造が図 7～図 9 の実施形態の場合と異なっているのみであり、その他の構造はこの図 7～図 9 の実施形態と全く同様である。従って、図 14～図 16 においては、図 7～図 9 と同等の構成要素には同じ参照符号が付されている。

【0058】

本実施形態においては、TMR 積層体 142 の基本的な層が、下部ギャップ層 71 側から、下部強磁性薄膜層（フリー層）、トンネルバリア層、上部強磁性薄膜層（ピンド層）及び反強磁性薄膜層という順序で積層された多層構造となっている。ハードバイアス層 145 は、下部ギャップ層 71 上に積層されている。なお、図 15 における、142a は TMR 積層体 142 の両端からハードバイアス層 145 方向に積層面に沿って延長された下部強磁性薄膜層（フリー層）である。

【0059】

本実施形態におけるその他の構造、材料、膜厚、作用効果及び変更態様等については、前述した図7～図9の実施形態の場合と同様である。

【0060】

図14～図16の実施形態において、TMR積層体の代わりにセンス電流を積層面と垂直方向に流す構造のCPP-GMR積層体を用いてもよいことは前に述べた通りである。

【0061】

上述した実施形態における第2のリード導体82及び第2のピアホール導体83について、それらの下部シールド層上に位置する部分の面積が小さくなるようにパターニングすれば、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンス C_{Shield} をより小さくすることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることができる。

【0062】

さらに、上述した実施形態におけるTMR積層体72若しくは142又はCPP-GMR積層体自体の膜厚を大きくするか、又はTMR積層体72若しくは142又はCPP-GMR積層体が形成されている部分のみ下部ギャップ層71を厚くすることによって、絶縁ギャップ層76の膜厚が大きくなるように構成すると、シールド層間キャパシタンス C_{Shield} をさらに低下させることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることができる。

【0063】

さらにまた、上述した実施形態におけるTMR積層体72若しくは142又はCPP-GMR積層体が存在しない位置において、下部シールド層70又は190の上面側を削って凹部を形成しその凹部内に絶縁体層を埋め込むか又は絶縁ギャップ層76の上に部分的に絶縁体層を付加することにより、下部シールド層及び上部シールド層間の実質的距離を増大させ、シールド層間キャパシタンス C_{Shield} をさらに低下させることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることが可能となる。

【0064】

以上述べた実施形態においては、2種類の構造のTMR積層体又はCPP-GMR積層体を用いているが、本発明は、いかなる構造のTMR素子又はCPP-GMR素子を備えた薄膜磁気ヘッドについても適用可能である。

【0065】

以上述べた実施形態は全て本発明を例示的に示すものであって限定的に示すものではなく、本発明は他の種々の変形態様及び変更態様で実施することができる。従って本発明の範囲は特許請求の範囲及びその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【0066】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように本発明によれば、下部シールド層及び上部シールド層間に形成された絶縁体材料による絶縁ギャップ層の少なくとも一部がA₁O₃より誘電率の低い絶縁体材料で形成されているため、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンスC_{Shield}が小さくなる。その結果、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

一般的な構造を有するCIP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【図2】

一般的な構造を有するTMR素子又はCPP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【図3】

CIP-GMR素子の等価回路図である。

【図4】

TMR素子又はCPP-GMR素子の等価回路図である。

【図5】

図4に示した等価回路において、シールド層間のキャパシタンスがC_{Shield}_{1d}=6pFの場合における減衰量の対周波数特性を示す図である。

【図6】

図4に示した等価回路において、シールド層間のキャパシタンスが $C_{\text{Shie}} = 1 \text{ pF}$ の場合における減衰量の対周波数特性を示す図である。

【図7】

本発明の一実施形態として、TMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図である。

【図8】

図7のA-A線断面図である。

【図9】

図7のB-B線断面図である。

【図10】

図7～図9の実施形態のごとき構造を有し、絶縁ギャップ層に種々の絶縁材料を用いたTMRヘッドを実際に作成して測定したヘッド出力の対周波数特性を表す図である。

【図11】

図10の特性を換算して得た線記録密度の対周波数特性を表す図である。

【図12】

過電流を流してTMRヘッドが電気的に破壊される電流を測定した結果を表す図である。

【図13】

過電流を流してCPP-GMRヘッドが電気的に破壊される電流を測定した結果を表す図である。

【図14】

本発明の他の実施形態として、TMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図である。

【図15】

図14のA-A線断面図である。

【図16】

図14のB-B線断面図である。

【符号の説明】

70 下部シールド層

71 下部ギャップ層

72、142 TMR積層体

142a 下部強磁性薄膜層（フリー層）

73 上部ギャップ層

74 上部シールド層

75、145 ハードバイアス層

76 絶縁ギャップ層

77 第1の絶縁体層

78 第2の絶縁体層

79 第1のピアホール導体

80 第1のリード導体

81 第1の端子電極

82 第2のリード導体

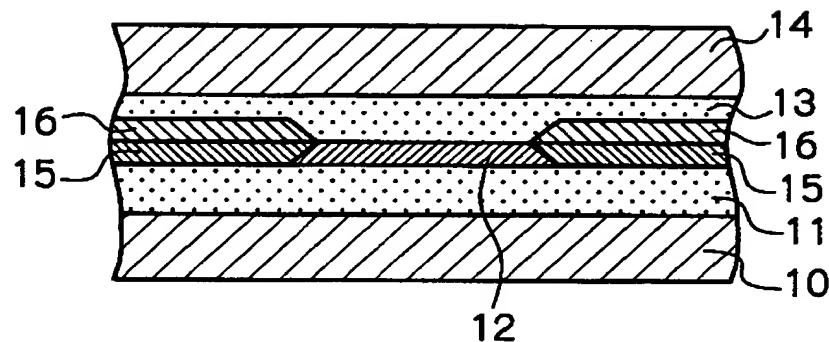
83 第2のピアホール導体

84 第3のリード導体

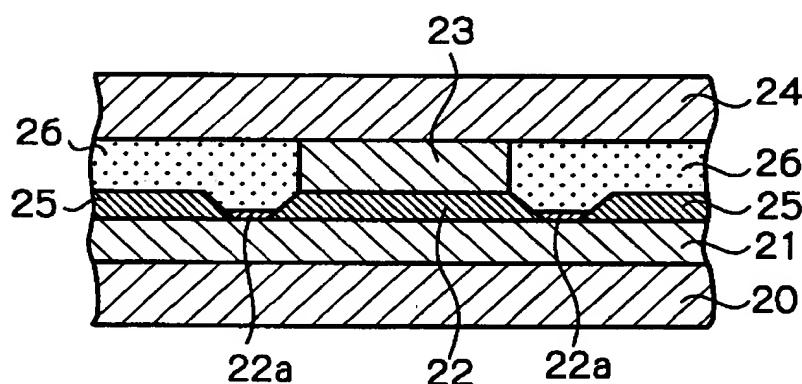
85 第2の端子電極

【書類名】 図面

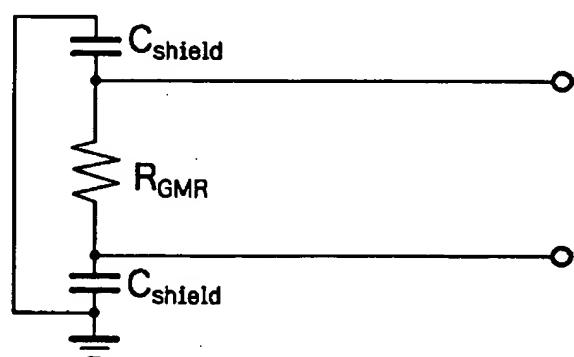
【図1】



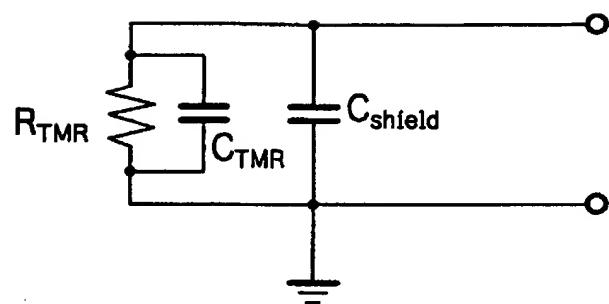
【図2】



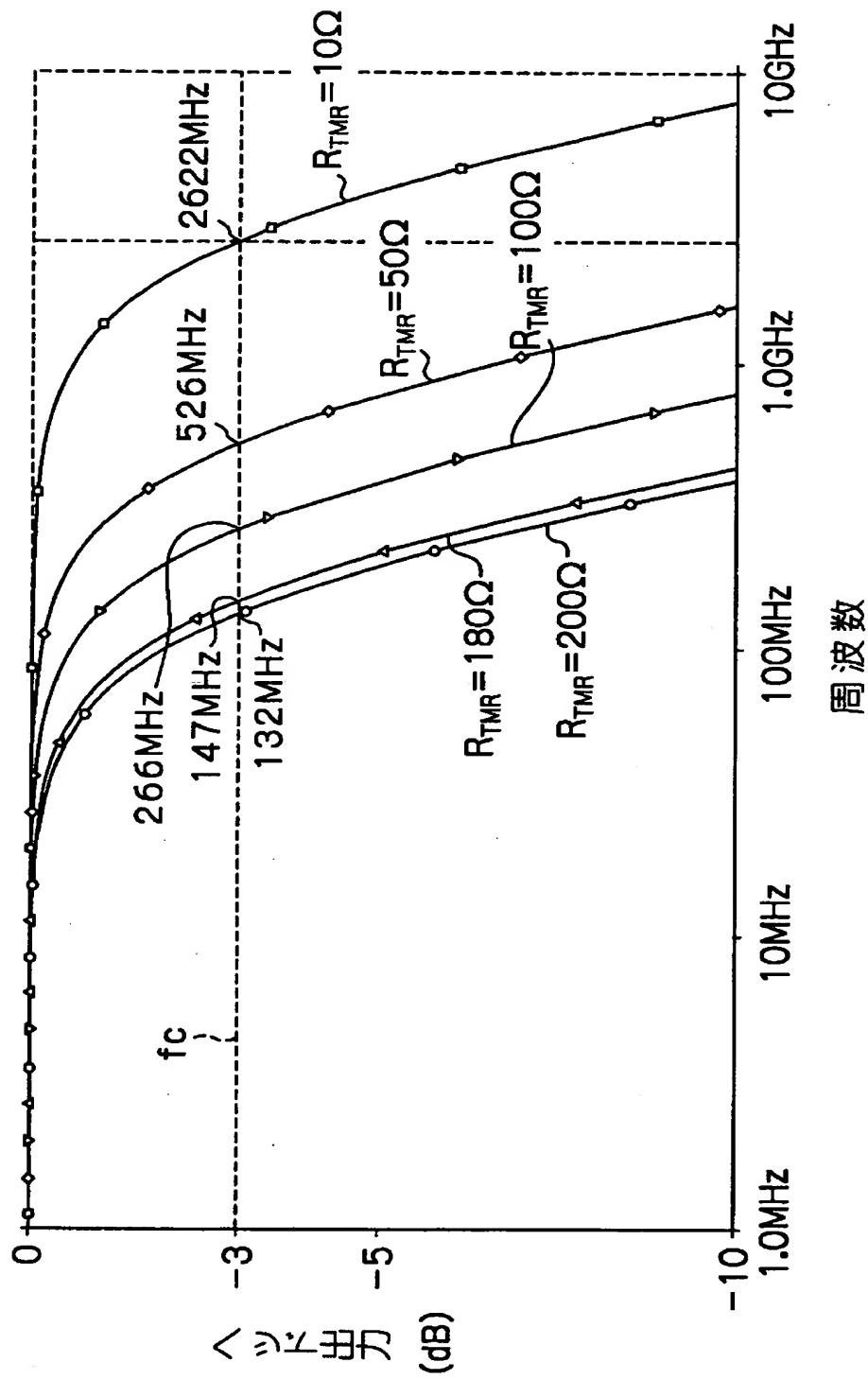
【図3】



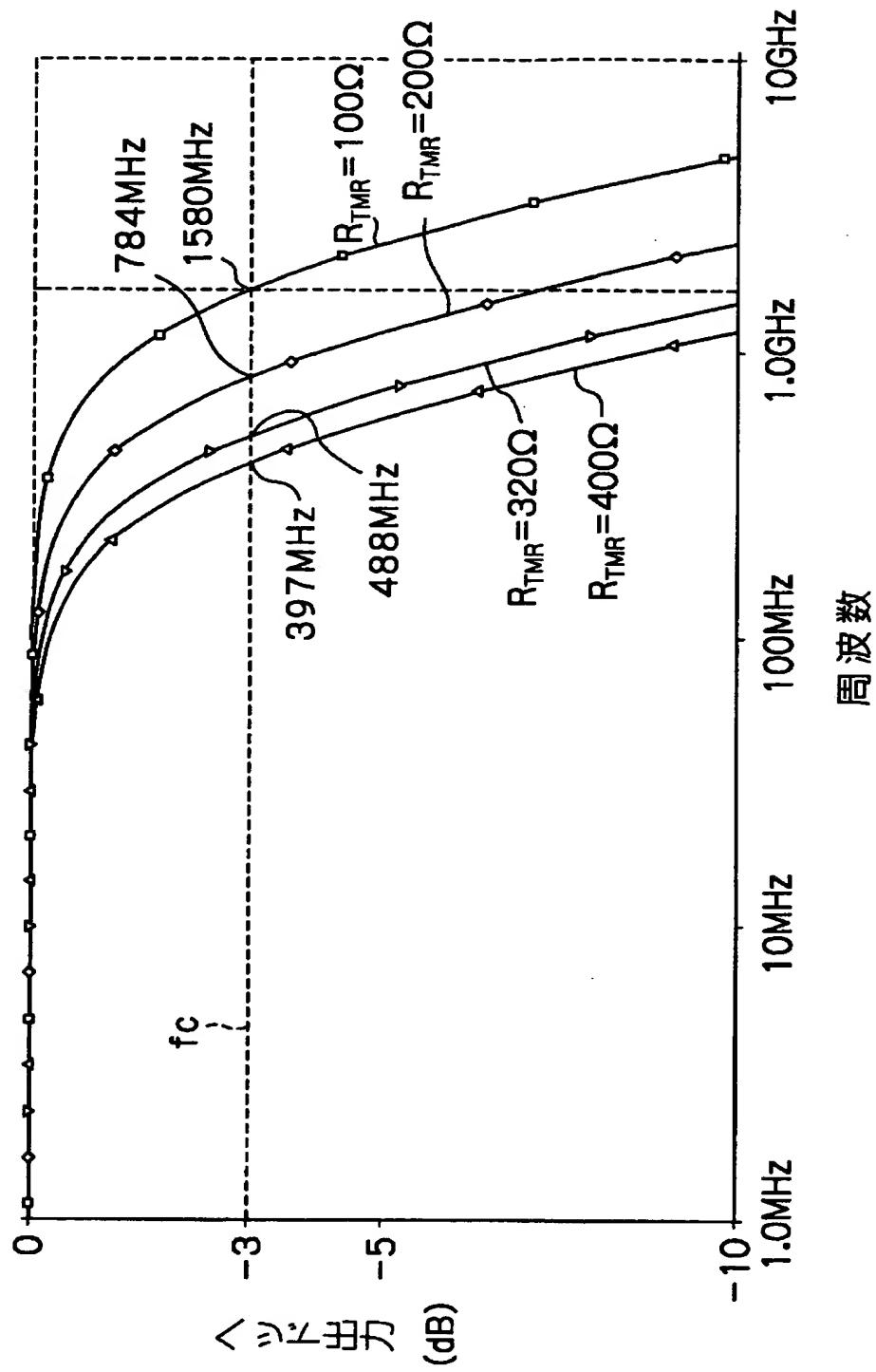
【図4】



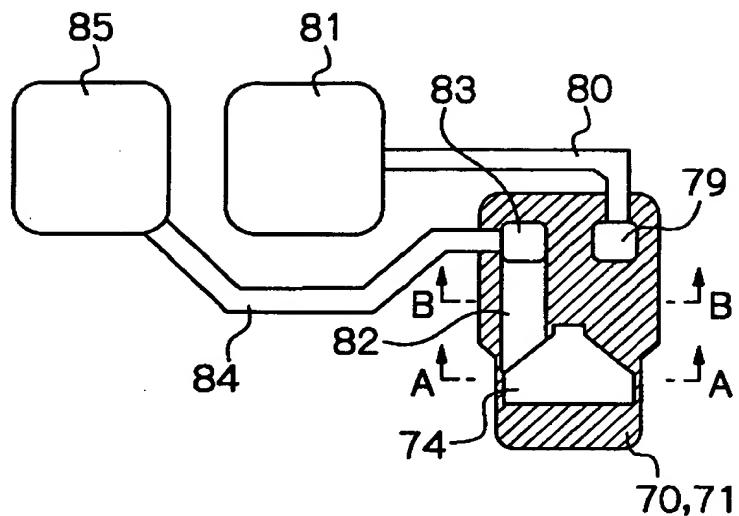
【図5】



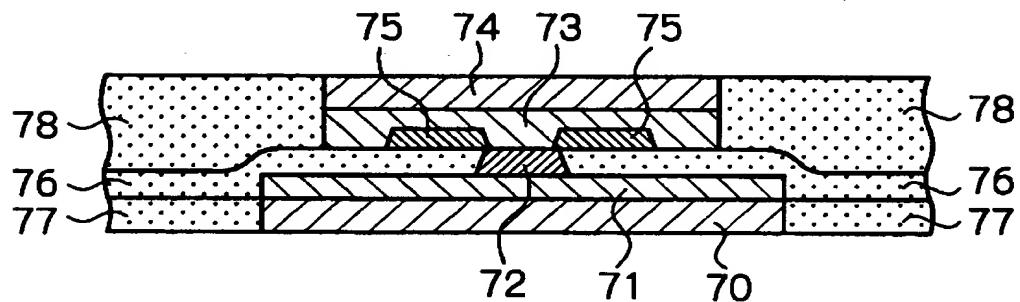
【図6】



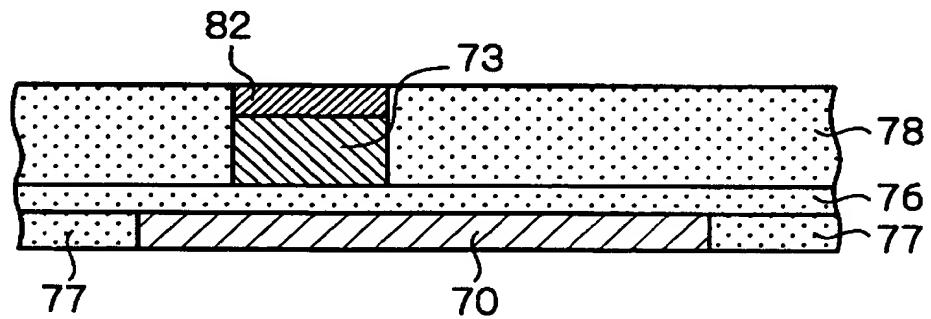
【図7】



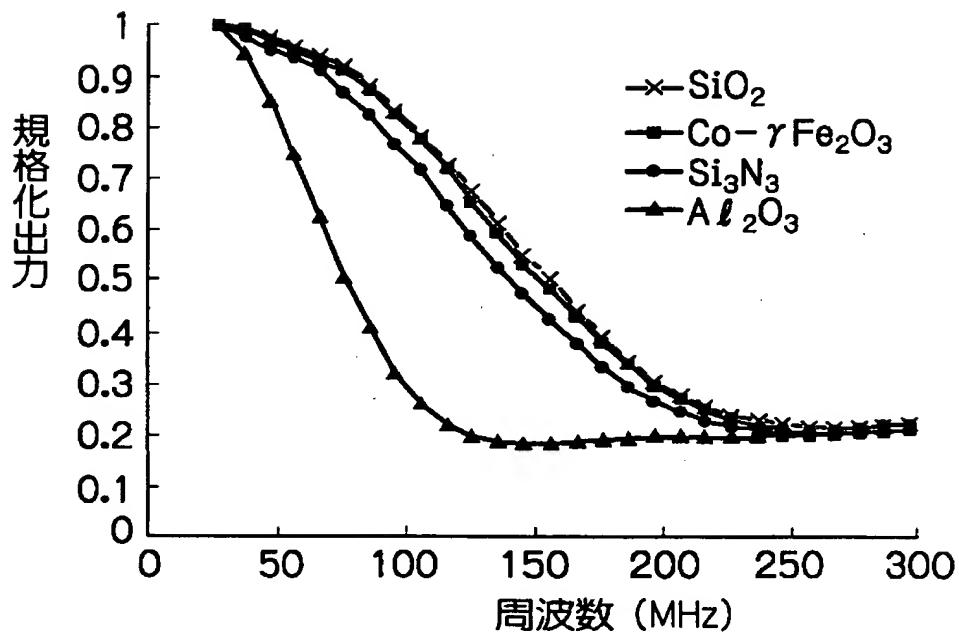
【図8】



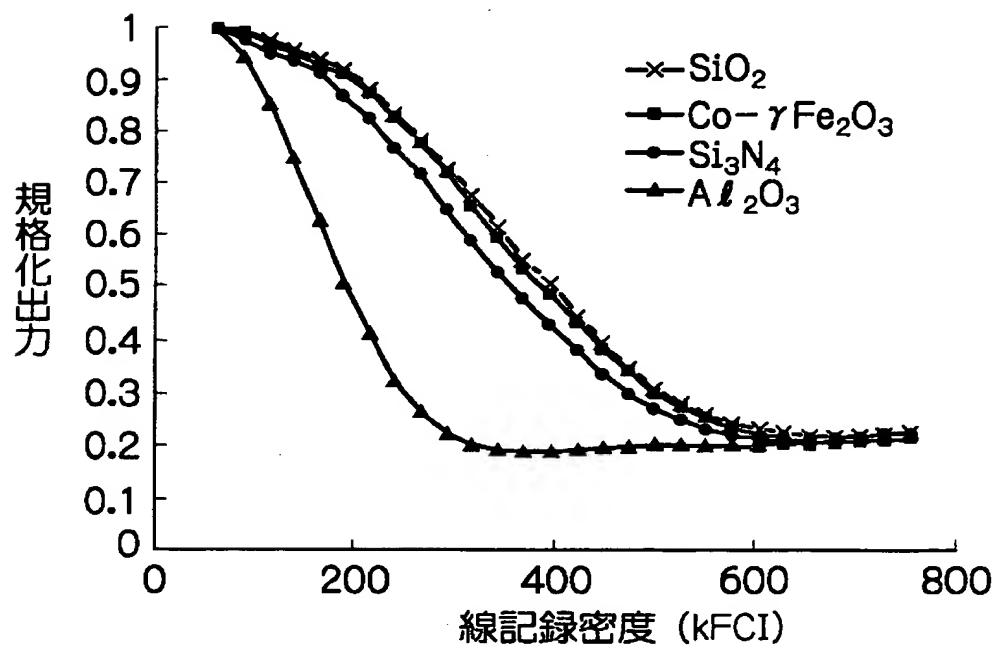
【図9】



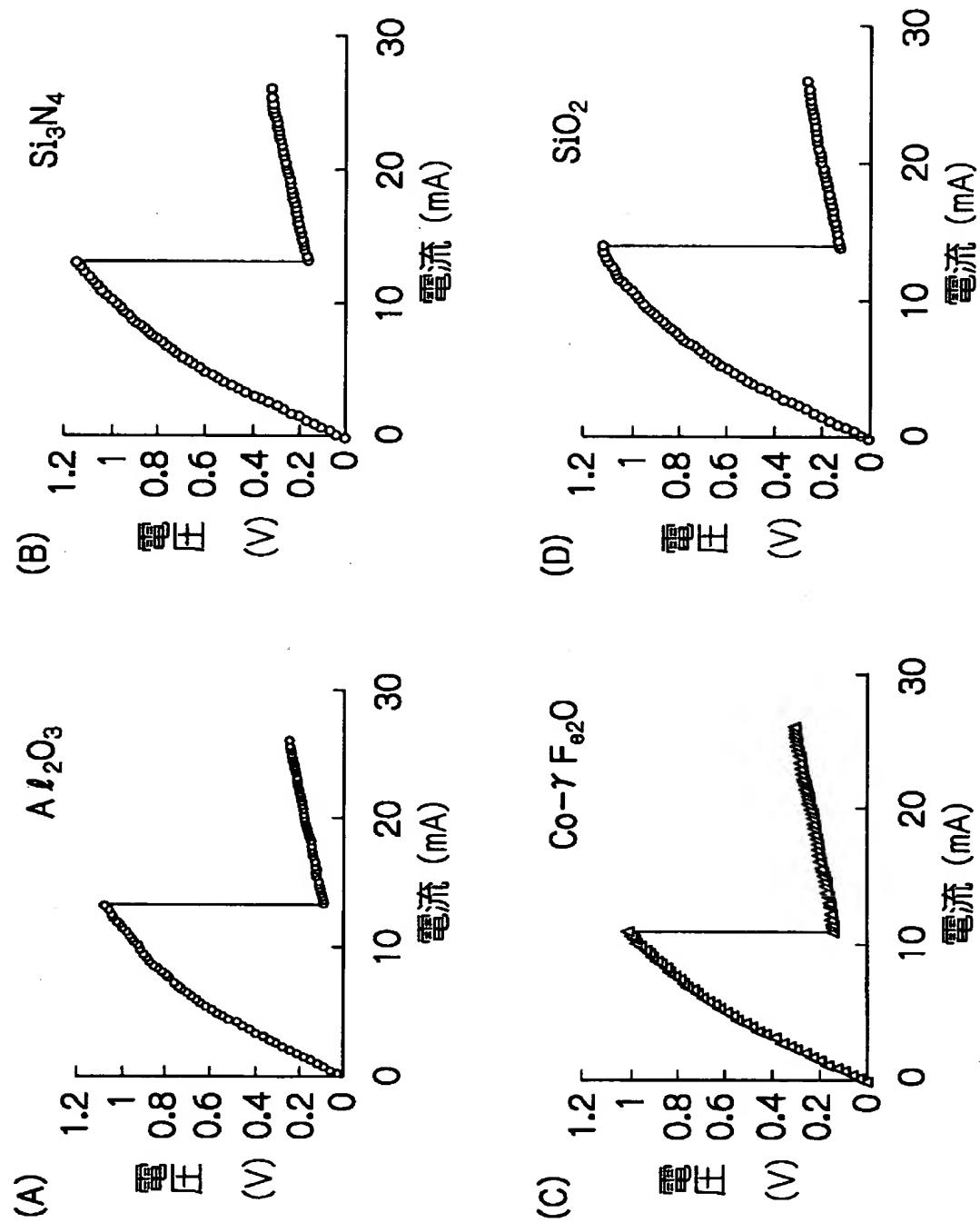
【図10】



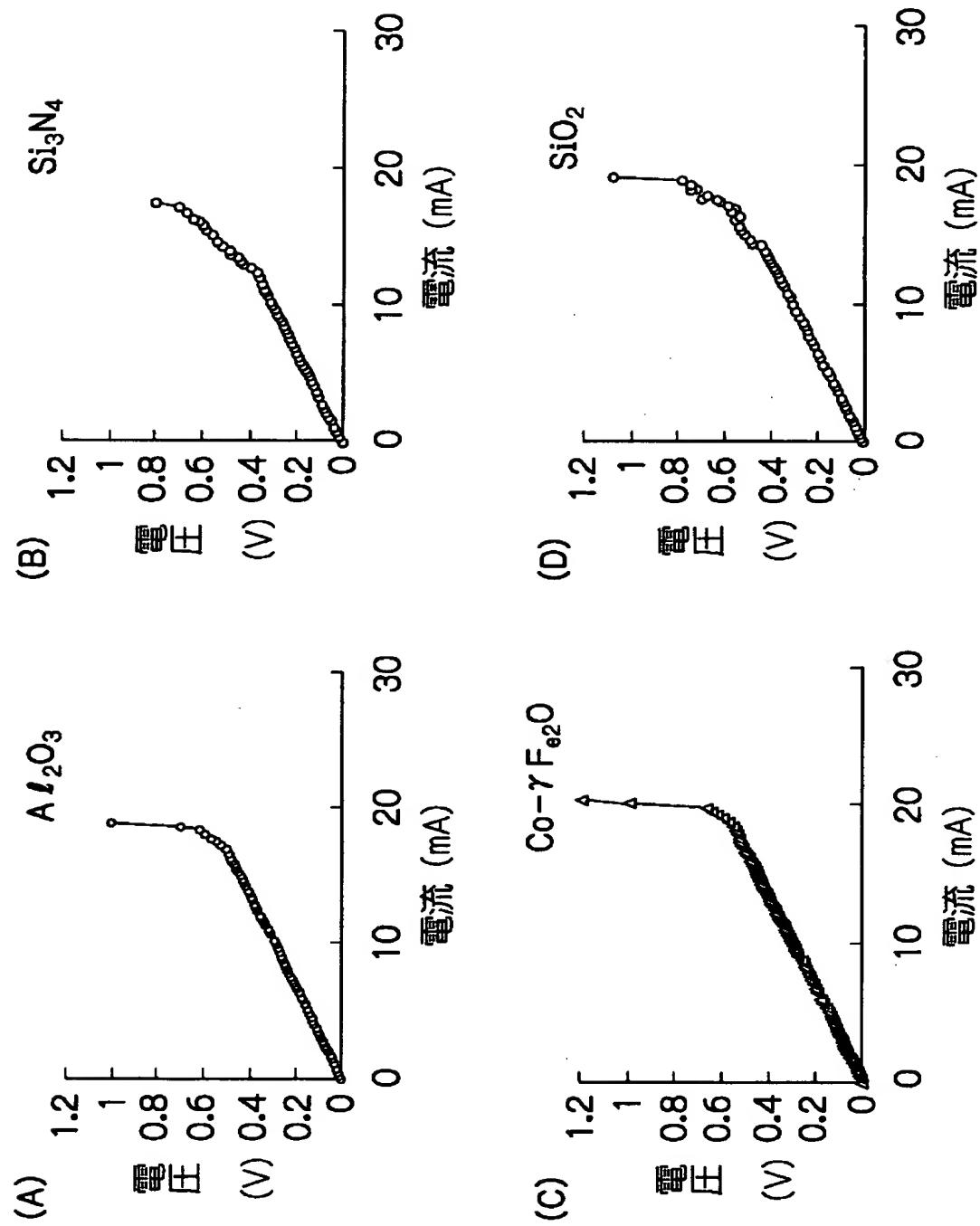
【図11】



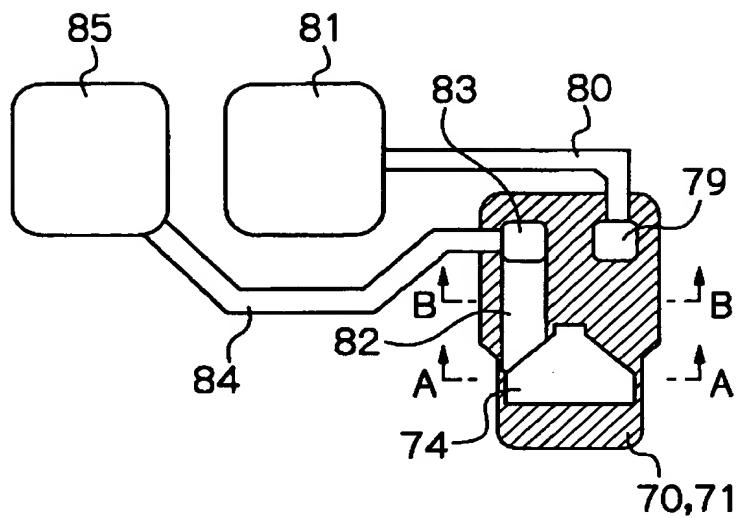
【図12】



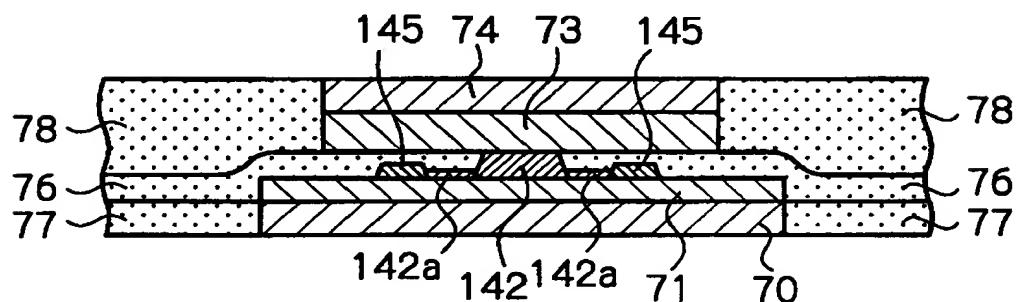
【図13】



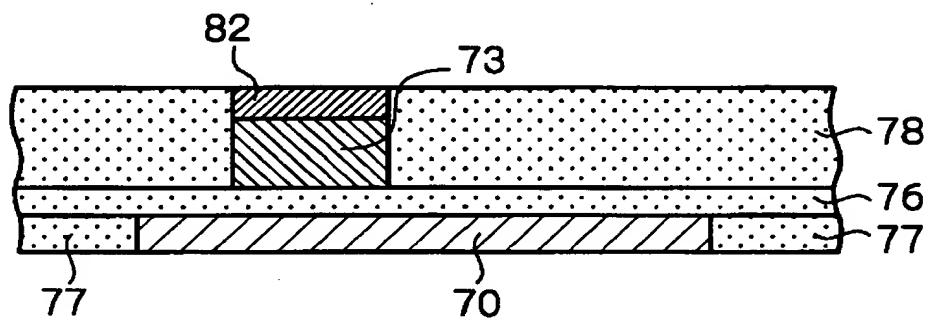
【図14】



【図15】



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 周波数特性を大幅に向上することができる、例えばTMR素子又はCPP-GMR素子を備えた、MR型薄膜磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 下部シールド層と、上部シールド層と、下部シールド層及び上部シールド層間にこれら下部シールド層及び上部シールド層に電気的に導通して形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体と、下部シールド層及び上部シールド層間に形成された絶縁体材料による絶縁ギャップ層とを備えており、この絶縁ギャップ層の少なくとも一部がAl₂O₃より誘電率の低い絶縁体材料で形成されている。

【選択図】 図7

出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号
氏 名 ティーディーケイ株式会社